

PREDPÍNACIE JEDNOTKY A PRVKY PREDPÄTIA

Milan Chandoga¹⁾

Princíp predpätého betónu je starý viac ako 100 rokov. Na počiatku jeho vývoja zohral významnú úlohu „otec predpätého betónu“ Prof.Freyssinet, ktorý najmä svojimi technickými vynálezmi dopomohol k jeho širokému uplatneniu v stavebníctve. Skutočný revolučný rozvoj predpätého betónu začal pred 60 rokmi a tento trend si udržuje až dodnes. Vo vývoji predpätého betónu možno neustále pozorovať prítomnosť technického a technologického progresu. Stály tlak inžinierov projektantov na zvýšenie úžitkových vlastností predpätých konštrukcií (rozpätia, zaťaženia) núti výrobcov vylepšovať vlastnosti konštrukčných materiálov a hľadať nové technológie realizácie predpätých konštrukcií. V príspevku sú zahrnuté niektoré poznatky z publikovaných prác, expozície výrobcov a práce komisie Fib č.9, ktorú sa za ostatné 4. roky venovala hlavne problematike životnosti predpätia.

Predpätý betón prešiel aj obdobím krízy. V 90. rokoch sa vo svete (ale aj u nás) prejavili výraznejšie slabé stránky predpätého betónu. Väčšinou išlo o problém spojený so životnosťou predpätia napadnutého koróziou spôsobenou chloridmi z rozmrazovacích posypových solí, resp. morských vôd. Radikálne riešila tento problém Veľká Británia, kde HIGHWAYS AGENCY v roku 1992 uvalila na dodatočne injektované predpäté mosty zákaz výstavby, ktorý trval až 4 roky.

Z hľadiska rozvoja predpätého betónu možno teda druhú polovicu 90 rokov charakterizovať ako roky technického zdokonaľovania materiálov, prvkov a technológií realizácie predpätia, ktoré poskytnú predpätej konštrukcii požadovanú životnosť po celú dobu jej existencie. V intenciách tohto procesu je aj snaha konštruktérov dostať predpätie z nepriesvitnej masy betónu a vystaviť ho trvalému zraku človeka. A tak sa čoraz viac a vo väčšom množstve navrhujú vonkajšie káble vedené v otvorenom priestore trámu, alebo vyvedené pod, resp. nad trámom v podobe tiahlí a závesov (extradosed bridges).

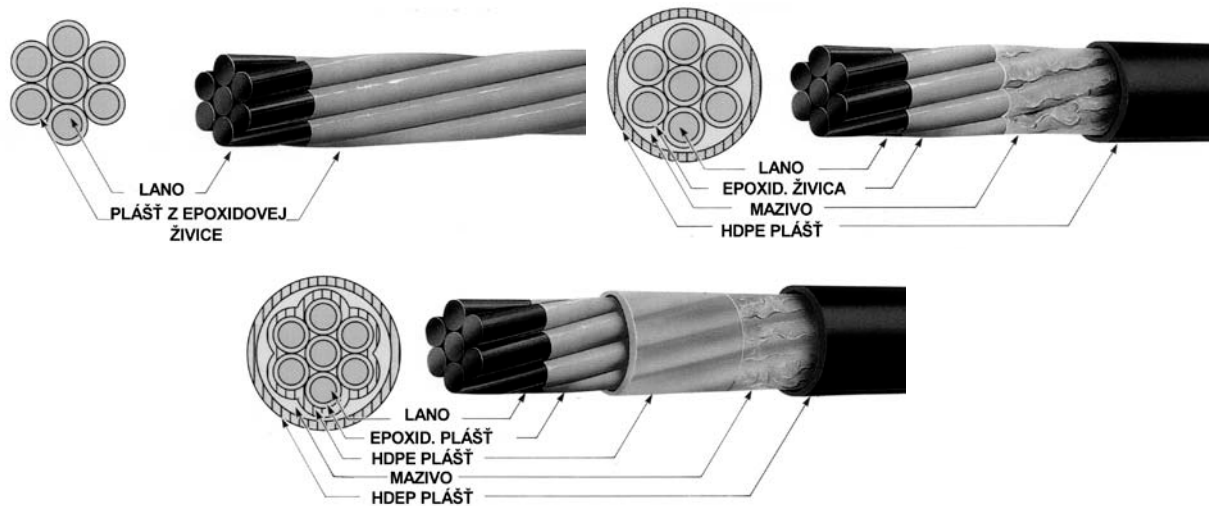
Významnú úlohu v internacionalizácii riešenia problému trvanlivosti predpätia vykonáva komisia Fib č.9 „Reinforcing and prestressing materials and systems“ (Výstuž, predpínací materiál a systémy). Komisia veľmi úzko spolupracuje s národnými odbornými inštitúciami na celom svete, ale najmä s európskymi normovými komisiami pre materiály a skúšobníctvo a jej bulletiny (Technical Reports) sú k dispozícii širokej odbornej verejnosti, členov i nečlenov Fib. Od roku 2002 má v nej zastúpenie aj Slovenská Republika.

V ďalšej časti príspevku sa pozrieme na vývoj predpätia za ostatné roky najmä z aspektu jeho trvanlivosti. Významný pokrok bol zaznamenaný nielen v primárnej oblasti pri výrobe prvkov a komponentov, ale aj v oblasti navrhovania (konštrukčného riešenia) a hlavne jeho realizácie in-situ.

1) Doc.,Ing.,PhD, Projstar PK s.r.o., Nad Dunajom 50, 841 04 Bratislava

Predpínacia výstuž

Zvýšené požiadavky na životnosť predpätia sa odrazili aj vo výrobe základného materiálu, predpínacej výstuže. Okrem klasickej predpínacej výstuže ponúkajú výrobcovia jej rôzne antikorózne úpravy, zinkom, epoxidom, polyetylénom, resp. ich kombináciou. Pri nesúdržnej predpínacej výstuži sa okrem štandardného typu MONOSTRANDOV vyrábajú aj systémy s viacnásobnou kombináciou antikorózneho ochrany (obr.1).

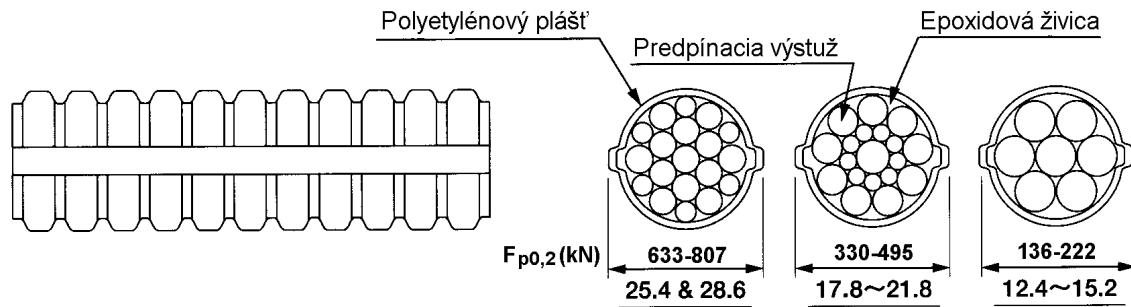


Obr. 1. Systémy s viacnásobnou kombináciou antikorózneho ochrany

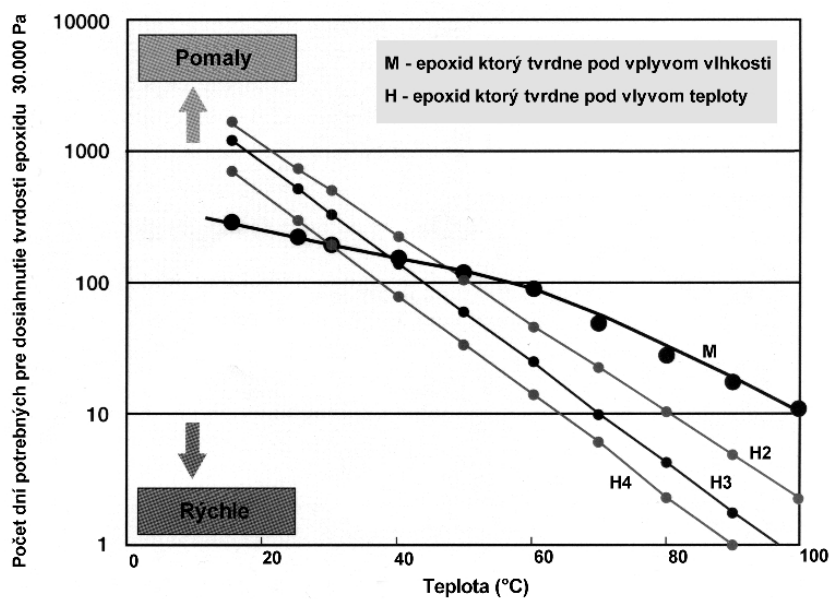
Predpínacia výstuž na báze uhlíkových, resp. sklenených vlákien napriek zvládnutiu kotvenia a napínania je stále na okraji záujmu investorov a dodávateľov. Väčšiemu používaniu bráni vysoká cena a zložitosť operácií pri napínaní a kotvení tohto materiálu.

Japonskí výrobcovia [7] v snahe eliminovať zo stavby nespoľahlivú injektáž a zároveň zachovať vlastnosti súdržného predpätia ponúkajú tzv. PRE-GROUTED TENDONS – PGT (obr.2). Vo voľnom preklade ide o predinjektované predpínacie jednotky (7 až 19 drôtové spletnice) extrudované v priesvitnom polyetylénovom plášti a vyplnené špeciálnou epoxidovou živicom, ktorá tuhne až po napnutí kábla. Na obr.3 sú uvedené diagramy tvrdnutia živíc 4-typov predpínacích jednotiek. Živica tvrdnúca pod vplyvom vlhkosti, nie je vhodná pri konštrukciách vystavených vysokým teplotám s dlhou dobou predpínania. Káble vyplnené živicom, ktorej tvrdnutie je závislé na teplote „H“ sa vyrábajú v 4 modifikáciách.

Prednosťou predpínacích jednotiek PGT je vylúčenie injektáže, zachovanie súdržnosti predpínacej výstuže s okolitým betónom, vynikajúca antikorózna ochrana predpínacej výstuže a jednoduchá montáž. Na druhej strane nevýhodami sú citlivosť na teplotu a vlhkosť, preto káble nemôžu byť vystavené poveternosti a musia byť napnuté cca. do jedného mesiaca od dodávky. Pretože vonkajší priemer PGT káblov je malý, je ich možné použiť v tenkých dodatočne predpäťých doskách. Na ich predpínanie a kotvenie sa používajú štandardné kotevné systémy dodatočného predpätia. Tieto predpínacie jednotky boli uvedené na japonský trh už v roku 1995, ale až za ostatné roky našli väčšie uplatnenie v japonských mostoch, najmä vďaka rozvoju kompozitných konštrukcií.



Obr. 2. Predinjektované predpínacie jednotky



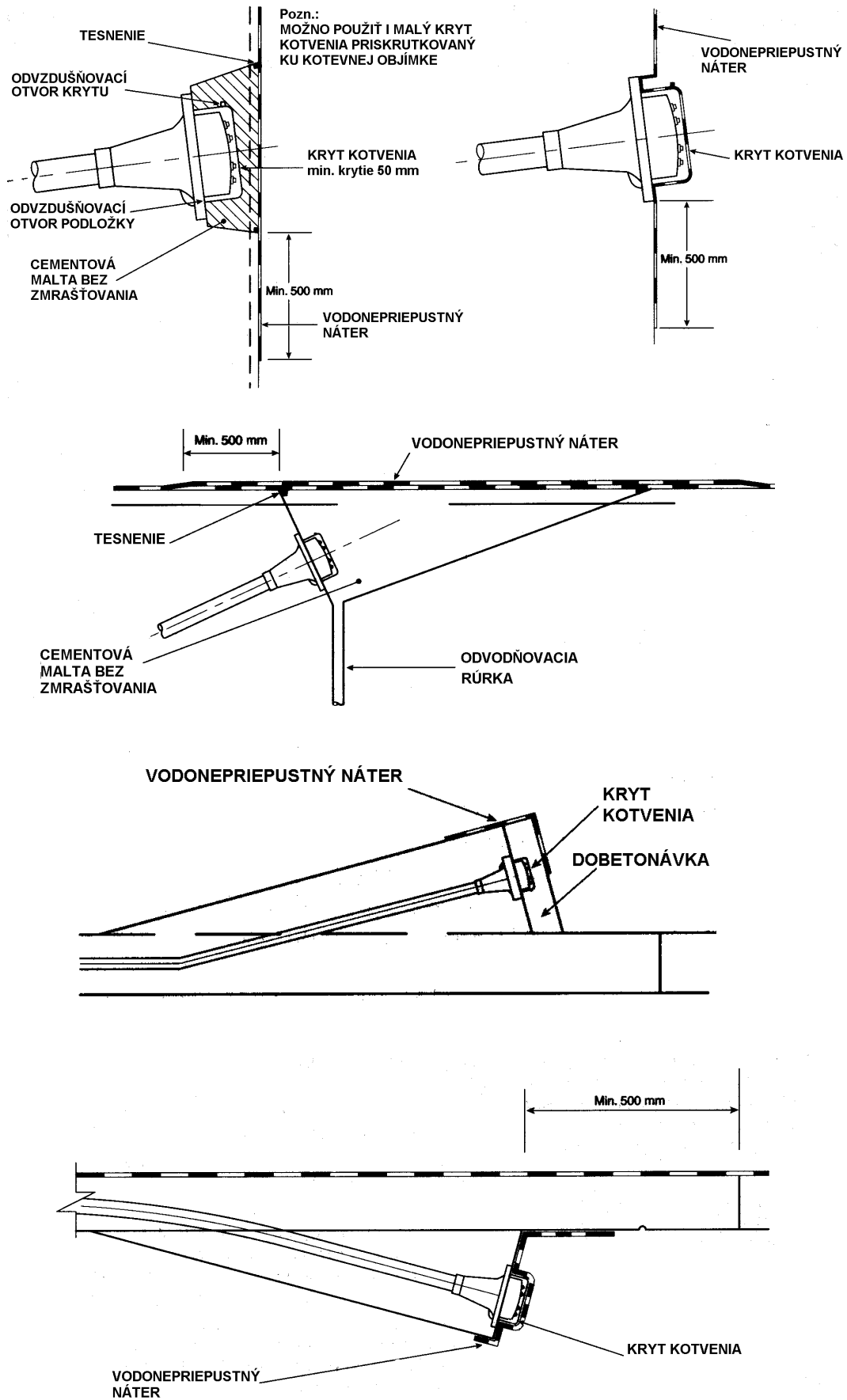
Obr. 3. Vlastnosti epoxidovej živice

Kotevné systémy

Výrazná vývojová zmena v konštrukciách kotevných systémov nebola zaznamenaná. Štandardné kotevné systémy nepoužívajú jednostupňové roznášacie podložky, ale viacstupňové oceľové odliatky, ktoré zabezpečujú plynulý transfer predpínacej sily do betónu a zároveň lepšie chránia predpínaciu výstuž pred koróziou.

Povinnou výbavou kotevného systému sa v mnohých krajinách stal aj vodotesný ochranný kryt kotvenia a to i v prípadoch keď je kotva uzavretá v monolitickom betóne. Najprísnejšie sa k tejto problematike postavila Veľká Británia. V zmysle [2] sa požaduje ochrana kotvenia vodotesným krytom a náterom betónu v oblasti kotvenia (obr.4).

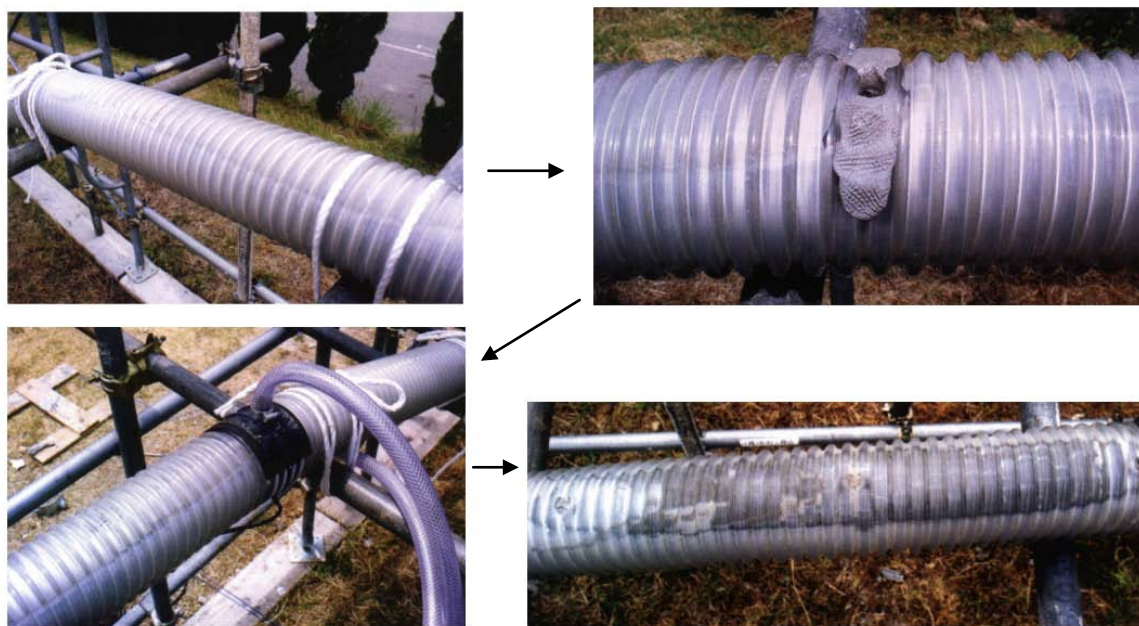
Prekvapuje dominujúce postavenie Japonských a čínskych výrobcov na vlastnom trhu napriek tlaku veľkých nadnárodných spoločností. Sortiment mnohých z nich je veľmi široký. Ponúkajú kvalitný predpínací materiál, širokú paletu kotiev a spojok, napínicu a injektážnu techniku a špičkové technologické zariadenia pre výstavbu mostov (vozíky, výsuvné skruže, montážne súbory a vysúvacie zariadenia).



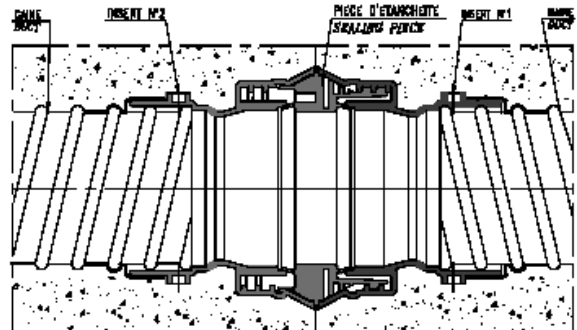
Obr. 4. Úprava koncového kotvenia podľa [2]

Hadice do betónu

Na vytváranie káblových kanálikov v betóne sa i v súčasnosti najviac používajú oceľové hadice, kvôli zvýšeniu životnosti sa vyrábajú aj galvanizované oceľové hadice. Hadice z polyetylénu sú na trhu už viac ako 10 rokov. Vzhľadom na kompletnosť prvkov injektáže a spájania umožňujú plasty vytvoriť prakticky vodotesný systém, ktorý zaručuje spoľahlivú protikoróznú ochranu predpätia. Väčšiemu používaniu plastov bráni ich vysoká cena v porovnaní s oceľovým typom hadíc. Kompatibilita oceľového a polyetylénového systému umožňuje už dnes používať plastové spojky, odbočky, injektážne hadice a ventily v kombinácii s oceľovými hadicami. Japonská firma SHINKO WIRE predstavila na kongrese program transparentných hadíc a rúr pre dodatočne predpätý betón [9]. Priesvitné hadice s priečnym rebrovaním sa používajú najmä pre predinjektované káble PGT a umožňujú kontrolu predinjektovania kábla epoxidovou živicom. Transparentné hadice veľkých priemerov boli použité pri experimentálnych skúškach injektáže a reinjektáže káblov, (obr.5). Polyetylénové transparentné rúry (pozri čl. Vonkajšie predpätie) možno použiť pri vonkajšom predpätí, ich vlastnosti sú porovnateľné s dnes používanými rúrami z lineárneho HDPE. Transparentnosť umožňuje vizuálne kontrolovať kvalitu injektáže kábla bez narušenia plášťa. Problém nedostatočnej tesnosti škár prefabrikovaných segmentových prvkov v okolí kanálika rieši polyetylénová spojka LIASEAL (obr.6). Spojka rieši problém, ktorý je aktuálny aj u nás, t.j. kompatibilitu otvorov, utesnenie kanálika pri betonáži a injektáži kábla a lepšiu ochranu kábla proti korózii.



Obr. 5 Transparentné hadice pri injektážnych skúškach



Obr. 6. Polyetylénová spojka LIASEAL [10]

Injektážna malta

Po mnoho rokov sa konštatovalo, že na spoľahlivú ochranu predpínacej výstuže proti korózii úplne postačuje injektážna malta vyrobená z portlandského cementu a vody. Až 90-te roky a už spomínané problémy s dodatočne predpätými mostami vo Veľkej Británii našťastovali prehodnotenie prístupu k tejto problematike. Dnes už hovoríme, že mosty treba navrhovať tak, aby bola zabezpečená viacbariérová antikoročná ochrana predpínacej výstuže [1], [2]. V zmysle tejto koncepcie prvou bariérou by malo byť spoľahlivé vyspádovanie nosnej konštrukcie, ktoré odvedie povrchové vody veľmi rýchle do odvodňovačov. Druhou bariérou je kvalitná celoplošná hydroizolácia. Tretou bariérou je krycia vrstva hutného betónu. Štvrtou bariérou je vlastný plášť kanáliku, (hadica, resp. rúra), ktorý neslúži len k vytvoreniu dutiny v betóne, ale sa od neho vyžaduje vodotesnosť po celej dĺžke kábla. Poslednou bariérou z hľadiska predpínacej výstuže primárnou, je injektážna malta. Okrem tejto funkcie injektážna malta zabezpečuje aj spolupôsobenie predpätia s betónovou konštrukciou.

Injektáž, ako posledná operácia pri realizácii predpätia na stavbe, sa veľa krát chápe ako jednoduché miešanie cementu a vody a jej následné tlačenie do kanáliku a preto túto „špinavú“ prácu častokrát robil ktokoľvek a akokoľvek. Až nedávne poznatky z prieskumu kvality injektáže mostov a výsledky experimentálneho výskumu zmenili pohľad na injektáž. Dnes už nikto nepochybuje, že ide o komplexnú a vysoko odbornú činnosť od prípravy vhodnej receptúry, až po kvalitné prevedenie na stavbe. Na výrobu i spracovanie vhodnej injektážnej malty sa ponúka celý rad receptúr s patričnou „chémiou“ a špičkových injektážnych zariadení. Najvýznamnejšiu funkciu v celom procese stále zohráva človek, jeho vzťah k práci a zodpovednosť. Táto práca preto môže byť zverená len dobre vyškoleným pracovníkom, ktorí si uvedomujú následky prípadného nezodpovedného konania.

Tab. 1. Prehľad požadovaných štandardných skúšok injektážnych mált

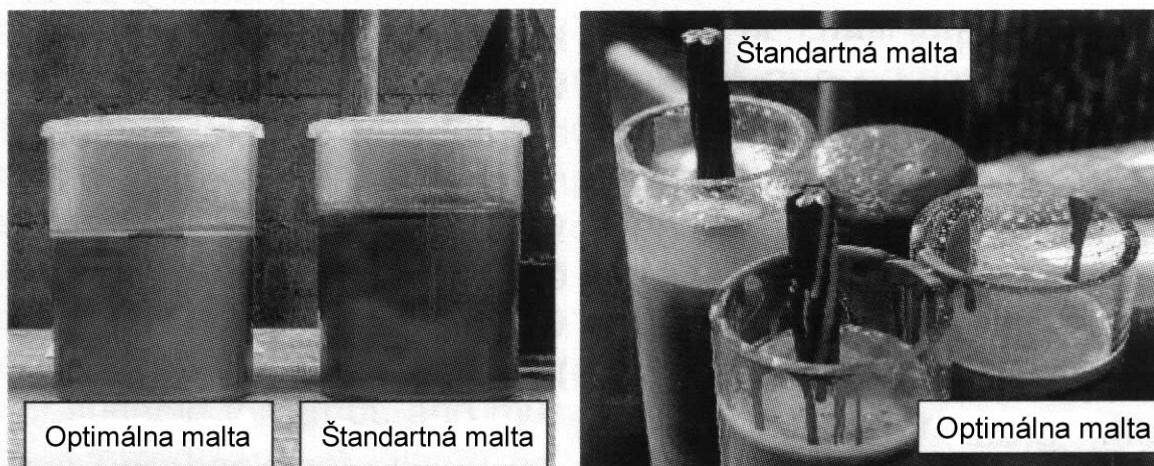
Vlastnosti	FiP	EN	USA	Metóda skúšania
Spracovateľnosť	4)	¹⁾ ≤ 10 sec.	¹⁾ 11~30sec.	¹⁾ Kužel s hrdlom Ø10 mm výtok 1 l malty ²⁾ Skúška ponorom
Zväčšenie objemu	³⁾ -2% až +5 %	³⁾ -1% až +5 %	³⁾ 0% až +0,1 %	³⁾ Valec z plastu Ø100, v=100, Ø50, v=200, (mm)
Max. odlučnosť vody a sadnutie malty	³⁾ ≤ 2%	³⁾ ≤ 2%	³⁾ ≤ 0%	
Min. pevnosť 7dní	≥ 20 MPa	≥ 27 MPa	≥ 21 MPa	Kocka alebo valec (50-100 mm)
28dní	≥ 30 MPa	≥ 30 MPa	≥ 35 MPa	

4) bez limitu, odporúča sa $w/c \leq 0,4$ až $0,45$

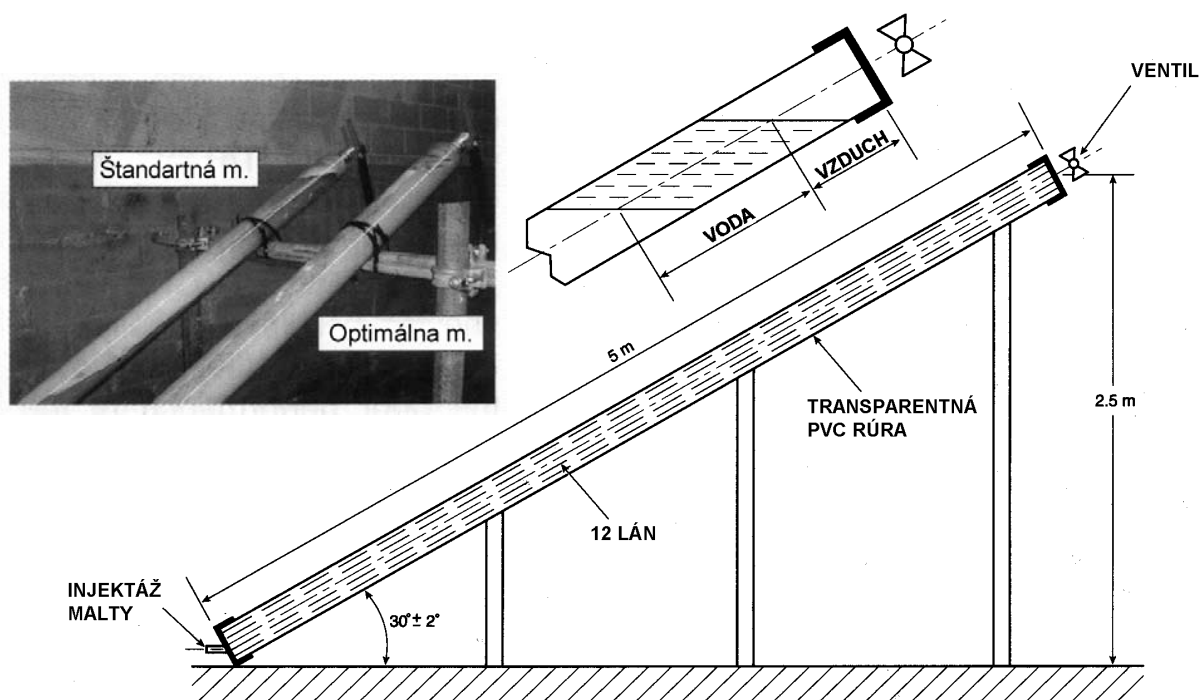
Medzi základné vlastnosti injektážnej malty stále patria spracovateľnosť, objemová stálosť, odlučnosť vody a pevnosť malty. V tab.1 sú uvedené požadované vlastnosti podľa príslušných predpisov. Nedávne výskumy a skúsenosti s injektážou in-situ ukazujú, že niektoré požiadavky nie sú relevantné, resp., že skúšobné metódy nie sú reprezentatívne a neodrážajú skutočné chovanie sa injektážnej malty v kanáliku. Napríklad pevnosť dobre navrhutej injektážnej malty je v súčasnosti podstatne vyššia (až 100 MPa). Druhá pripomienka sa týka odlučnosti vody a objemovej stálosti malty. Ukázalo sa, že skúšky týchto vlastností v normovej 100 ml plastovej nádobke nie sú reprezentatívne a neodrážajú skutočný stav v káblovom kanáliku, ktorý je vyplnený predpínacou výstužou. Preto boli viacerými orgánmi, i Technickou komisiou č.9 fib prijaté za reprezentatívne ďalšie dve skúšky s prítomnosťou predpínacej výstuže:

- skúška odlučnosti vody v 1 m zvislej transparentnej rúre s prítomnosťou lana Ø15,5mm (WICK INDUCED BLEED TEST) pozri obr.7,
- skúška odlučnosti vody v 5 m šikmej transparentnej rúre s prítomnosťou 12 lán Ø15,5mm, (obr.8),

Okrem týchto tzv. preukazných skúšok vlastností injektážnych maltovín sa dnes už požadujú aj preukazné skúšky injektáže na vzorke kábla s koncovým kotvením, resp. medziľahlou spojkou, ktorá vystihuje skutočný tvar kábla v moste.



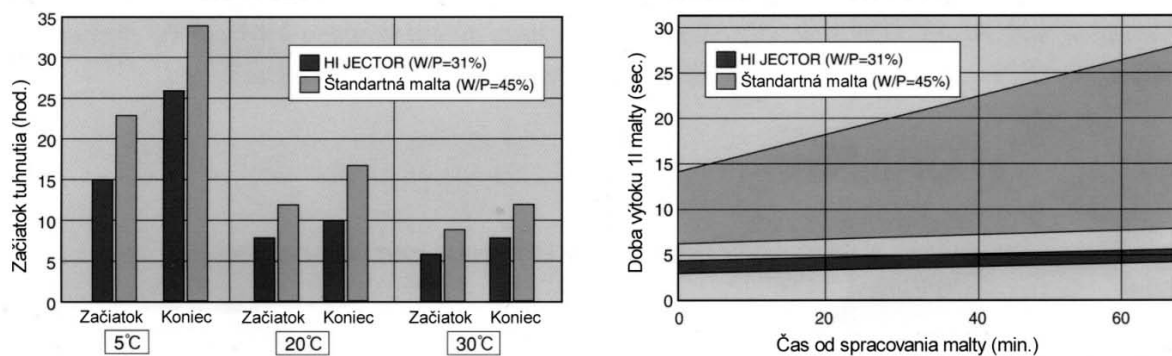
Obr. 7 Skúška odľučnosti vody v normovej nádobe a v 1m rúre s lanom Ø15,5mm



Obr. 8. Skúška odľučnosti vody v 5 m šikmej transparentnej rúre s prítomnosťou 12 lán Ø15,5mm

Výsledkom viacročných pretekov vo vývoji injektážnych mált sú portlandské malty s ultra nízkou viskozitou bez objemovej zmeny, bez odľučnosti vody s 28 dňovou pevnosťou až 100 MPa (po 7 dňoch 60 MPa). Malty sú zvyčajne balené v plastových vreciach (20 – 50 kg) a po pridaní vody a spracovaní vo vysokootáčkovej miešačke (cca. 4 min.) ich stabilná konzistencia pretrváva viac ako 60 min. (obr.9), [8]. Vo všetkých technických predpisoch a odporúčaniach sa zdôrazňuje, že výroba injektážnych mált a preukazné skúšky injektáže káblov treba vždy vykonať na zariadení (*injektážnej súprave*), ktorá bude skutočne použitá in-situ.

Kvalitná injektážna súprava by mala byť dvojbubnová (vysokootáčková miešačka + nízkoootáčkový zásobník) s meradlami vody a tlaku injektážnej malty na výstupe čerpadla.



Obr.9. Vlastnosti ultra viskózneho injektážneho HI JECTOR (Japonsko)

Záverom tejto kapitoly treba konštatovať, že veľmi solventní investori požadujú použitie primárne, antikorošne upravenej predpínacej výstuže (zinok, epoxid) aj pri kábloch so súdržnosťou.

Literatúra

- [1] Grouting of post – tensioning tendons. VSL report series 5, May 2002,
- [2] Durable post – tensioned concrete bridges. Technical report No.47, The concrete society, 2002,
- [3] Jungwirth, D.: Problems, solutions, developments and applications at different kinds of post-tensioning tendons from the European point of view. Proceedings of the first *fib* Congress 2002, Osaka 2002,
- [4] *fib* Bulletin 15: Durability of post-tensioning tendons. Technical report, *fib* Lausanne 2001,
- [5] Ganz, H. R.: Recent developments in the protection of prestressing steels. In Proceedings of the first *fib* Congress 2002, Osaka 2002,
- [6] New PC materials and engineering, SUMITOMO STEEL WIRE Corp. Prospect EM-67 (2002.Október)
- [7] AFTER BOND, SHINKO WIRE Co.LtD, Prospect S-WD-1302101000F,
- [8] HI JECTOR, TAIHEIYO MATERIAL, Prospect 02.10.1000R,
- [9] Transparent sheath, SHINKO WIRE Co. LtD. Prospect.
- [10] Živanovič, I. a kol.: Durability specifics for prestressing. In Proceedings of the first *fib* Congress 2002, Osaka 2002,